



IFW

PATENT  
0038-0430PUS1

IN THE U.S. PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Applicant: Toshihiro HIRAI et al. Conf.: UNKNOWN  
Appl. No.: 10/816,875 Group: UNKNOWN  
Filed: April 5, 2004 Examiner: UNKNOWN  
For: ACTUATOR

L E T T E R

Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

July 29, 2004

Sir:

Under the provisions of 35 U.S.C. § 119 and 37 C.F.R. § 1.55(a), the applicant(s) hereby claim(s) the right of priority based on the following application(s):

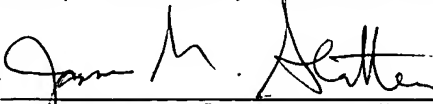
<u>Country</u>	<u>Application No.</u>	<u>Filed</u>
JAPAN	2004-027336	February 3, 2004

A certified copy of the above-noted application(s) is(are) attached hereto.

If necessary, the Commissioner is hereby authorized in this, concurrent, and future replies, to charge payment or credit any overpayment to Deposit Account No. 02-2448 for any additional fee required under 37 C.F.R. §§ 1.16 or 1.17; particularly, extension of time fees.

Respectfully submitted,

BIRCH, STEWART, KOLASCH & BIRCH, LLP

By   
James M. Slattery, #28,380

JMS/te  
0038-0430PUS1

P.O. Box 747  
Falls Church, VA 22040-0747  
(703) 205-8000

Attachment(s)

(Rev. 02/12/2004)

Applic no 10/816,875  
Filing date 4/5/04

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

Inventor: Toshihiro  
Hirai et al  
Docket NO. 0058  
(430705)

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて  
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed  
with this Office.

BEK B  
703-  
205-800

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2004年 2月 3日

出 願 番 号  
Application Number: 特願2004-027336  
[ST. 10/C]: [JP2004-027336]

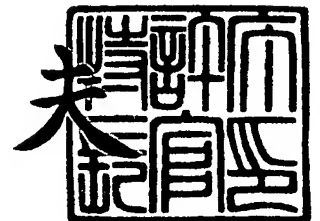
出 願 人  
Applicant(s): 信州大学長

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2004年 3月30日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願  
【整理番号】 P0452924  
【提出日】 平成16年 2月 3日  
【あて先】 特許庁長官 殿  
【国際特許分類】 H01L 41/08  
【発明者】  
    【住所又は居所】 長野県上田市諏訪形 9 4 0 番地の 1 3  
    【氏名】 平井 利博  
【発明者】  
    【住所又は居所】 長野県須坂市北原町 6 1 5  
    【氏名】 遠藤 守信  
【特許出願人】  
    【識別番号】 597100974  
    【氏名又は名称】 信州大学長  
【代理人】  
    【識別番号】 100077621  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 綿貫 隆夫  
【選任した代理人】  
    【識別番号】 100092819  
    【弁理士】  
    【氏名又は名称】 堀米 和春  
【提出物件の目録】  
    【物件名】 特許請求の範囲 1  
    【物件名】 明細書 1  
    【物件名】 図面 1  
    【物件名】 要約書 1  
    【包括委任状番号】 9913865

**【書類名】 特許請求の範囲****【請求項 1】**

柔軟性を有する高分子材料からなるシート体の両面に、カーボンナノファイバーを主体とする電極が形成されていることを特徴とするカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ。

**【請求項 2】**

前記シート体内に、前記電極を構成するカーボンナノファイバーの一端側が埋没していることを特徴とする請求項 1 記載のカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ。

**【請求項 3】**

前記高分子材料がポリウレタン樹脂であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ。

**【請求項 4】**

前記高分子材料がシリコン樹脂であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載のカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ。

**【請求項 5】**

請求項 1 ～ 4 いずれか 1 項記載のカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータにおける前記電極用の、カーボンナノファイバーからなるアクチュエータ用電極材料。

**【書類名】明細書****【発明の名称】** カーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ**【技術分野】****【0001】**

本発明は、電場を印加することによって、高分子材料を大きく変形させることができるカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータおよびこのアクチュエータ用電極材料に関する。

**【背景技術】****【0002】**

高分子材料からなるシート体の両面に電極を形成し、電圧を印加することによってシート体を変形させるアクチュエータが開発されている。

例えば、特開 2000-49397 には、両面に電極を有する一層のポリウレタン膜からなり、電場の印加により変形（曲げ電歪）を起すアクチュエータが示されている。

このアクチュエータ 10 では、図 17 に示すように、電極 11 は、ポリウレタン膜 12 の両面に金を蒸着して形成される。

**【特許文献 1】** 特開 2000-49397（特許請求の範囲）

**【発明の開示】****【発明が解決しようとする課題】****【0003】**

上記のように、ポリウレタン膜の両面に金を蒸着して電極 11 を形成した場合には次のような課題を有していることが判明した。

すなわち、金を蒸着すると、金の微粒子がポリウレタン膜 12 の表面に付着する状況となる。

このアクチュエータ 10 に図 18 に示すように電場を印加すると、アクチュエータ 10 は湾曲する。この湾曲を利用して各種アクチュエータとして利用できる。

しかしながら、上記変形は僅かであって、同公報に記載されているように、曲率  $1/R = 3.6 \text{ m}^{-1}$  程度でしかなく、アクチュエータとして使用できたとしてもその利用範囲は極めて限定されたものとなってしまう。

**【0004】**

発明者が検討したところ、上記のように僅かしか変形させられない理由は電極 11 の構成にあることがわかった。

すなわち、金を蒸着して得られる電極 11 は、金の微粒子が接触しながら付着している状況となっている。このような電極 11 が形成されているアクチュエータ 10 が大きく変形（湾曲）しようとする、電極 11 にヒビ割れが生じ、電気的導通が遮断されてしまう。したがって、大きな変形が得られないのである。電極 11 を厚付けすればよいが、そうするとポリウレタン膜 12 の柔軟性が阻害され、そもそも変形が生じなくなってしまう。

本発明は上記課題を解決すべくなされたものであり、その目的とするところは、大きな変形が得られるカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータおよびこのアクチュエータに用いて好適な電極材料を提供するにある。

**【課題を解決するための手段】****【0005】**

本発明に係るカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータ（以下単にアクチュエータという）は、柔軟性を有する高分子材料からなるシート体の両面に、カーボンナノファイバーを主体とする電極が形成されていることを特徴とする。

また、前記シート体内に、前記電極を構成するカーボンナノファイバーの一端側が埋没していることを特徴とする。

また、前記高分子材料がポリウレタン樹脂であることを特徴とする。

前記高分子材料にシリコン樹脂を用いることもできる。

**【発明の効果】****【0006】**

本発明によれば、カーボンナノファイバー同士が接触しているだけの柔らかく、かつカーボンナノファイバー同士の接触が維持されつつシート体の変形に追従する電極を設けたので、もともと大きな変形可能性のあった材料の変形を最大限取りだし可能となった。

【発明を実施するための最良の形態】

【0007】

図1は、本発明に係るアクチュエータ20の説明図である。

22は、柔軟性を有する高分子材料からなるシート体であり、このシート体22の両面に、カーボンナノファイバーを主体とする電極24が形成されている。

電極24は、シート体22の両面全体に、あるいは所要パターンで形成される。

電極24を、シート体22の両面全体に均一に形成して、シート体24の一端側の両電極部に電場を印加することにより、シート体22は他端側が円弧状に大きく湾曲する。電極24をシート体22の両面にパターン化して形成するようにすれば、この電極パターンに応じてシート体22が種々の形状に変形することになる。

【0008】

シート体22の高分子材料は特に限定されるものではない。

例えば、上記特開2000-49397に示されるポリウレタン、特にソフトセグメントが、ポリエステルを有するポリウレタンを主体とするポリウレタンを好適に用いることができる。

あるいは高分子材料にシリコーンゲルを用いることもできる。

その他、高分子材料として、塩化ビニル、ポリエチレン、ポリプロピレン、PETなどの汎用樹脂材料も用いることができる。

【0009】

従来、電場を印加することによって変形する、この種アクチュエータに用いられる高分子材料としては、ポリカーボネート系ポリオールを有するポリウレタン・エラストマーなどのように、直流電場が印加されることによって電場方向に配向するものが必要とされた（例えば、特開平7-240544）。

しかしながら、本発明においては、後記するように、電極24の構造を改良することによって、大変形を与えることが可能であるばかりか、上記のような配向性を有する結晶性のポリマーでなくとも使用可能である。

【0010】

なお、これら高分子材料に柔軟性を付与するために、適宜可塑剤を添加したものをを用いる。

また、これら高分子材料に、若干の電解質（例えば食塩）をドーピングして、電場を印加した際に、nAレベルの電流が流れるように、すなわち半導体レベルの若干の導電性が生じるようにするとよい。この電解質のドーピングにより、シリコーンゲルなど、そのままでは完全な絶縁性を有するものであっても、電場を印加した際、比較的大きく変形させることができるようになった。

【0011】

電極24の材料は、カーボンナノファイバーを用いる。カーボンナノファイバーは、例えば気相成長法によって得られるカーボンナノチューブ等を好適に用いることができる。この気相成長法によるカーボンナノファイバーは、直径が数十nm～百数十nm程度で、長さが数 $\mu$ m～十数 $\mu$ m程度の極細の繊維状をなすものである。

【0012】

電極材料としては、カーボンナノファイバーのみを用いるのが好適であるが、カーボンナノファイバーにグラファイトやカーボンなどの炭素成分を混入したものであってもよい。

この電極材料を用いて、柔軟性を有する高分子材料からなるシート体22の両面に電極24を形成する。

【0013】

電極24の形成方法の一例を説明する。

まず第1の方法としては、カーボンナノファイバーをエタノール等の溶媒中に分散してペースト状にし、このペーストをシート体22の両面に塗布し、次いで乾燥させて電極24とする。なお、乾燥させて後、表面をローラ等で押圧することによって、カーボンナノファイバーをシート体22表面に完全に付着させるようにするとよい。またこのように、押圧することによって、カーボンナノファイバーの一端側がシート体22の表面に食い込む（埋没）ようになる。

なお、カーボンナノファイバーの脱落防止のため、適宜な導電性樹脂による塗膜をカーボンナノファイバー上に形成するようにするとよい。

#### 【0014】

カーボンナノファイバーは、前記のように、極細の繊維状をなすことから、この繊維状をなすカーボンナノファイバーが多数集合している電極24は、従来の金の微粒子が付着し合っている電極と相違し、シート体22が大きく変形しても、屈曲性に優れたカーボンナノファイバーはシートに追従して変形するので、繊維間が分離することなく、接触を保ったまま、シート体22の変形に追従するのである。

このように、シート体22が大きく変形しても、電極24がヒビ割れ等によって破壊されず、電極の機能が保たれるから、シート体22が大きく変形可能なのである。

すなわち、高分子材料からなるシート体22はもともと大きな変形可能性を有していたものであった。

本発明では、カーボンナノファイバー同士が接触しているだけの柔らかく、かつカーボンナノファイバー同士の接触が維持されつつシート体22の変形に追従する電極24を設けたので、もともと大きな変形可能性のあった材料の変形を最大限取りだし可能としたものである。

#### 【0015】

また、上記のように、カーボンナノファイバーをローラ等で押圧することによって、カーボンナノファイバーの一端側をシート体22の表面に食い込ませるようにすることができる。

このシート体22内に食い込んだカーボンナノファイバーの一端が、電極24に電場を印加した際の電子の放出端となると考えられる。

#### 【0016】

気相成長法による炭素繊維は、電解電子エミッタ用の炭素繊維として用いられ、高電界を印加することによって、鋭いエッジ端から電子が空気中に放出されることが知られている。

本発明において、発明者は、電極24に電場を印加することによって、シート体22内に食い込んだカーボンナノファイバーの一端側からシート体22内に向けて、すなわち、固体あるいはゲル内部に向けても電子が集中して放出され、これが、シート体22を効果的に大きく変形（湾曲）させ得る一因であることに想到した。

#### 【0017】

すなわち、この種高分子材料が変形するメカニズムは、シート体22の両縁部において、電荷が非対称に偏在することによって、一方の縁部では収縮が生じ、他方の縁部では伸長が生じることによると考えられる。

上記のように、カーボンナノファイバーの一端側がシート体22に食い込み、この鋭い一端側から電子がシート体22内部に向けて放出されることは、シート体22内への電荷のチャージが効率良くなされ、電化の非対称性を助長することから、応答性よく、シート体22を変形させることができると考えられる。

#### 【0018】

電極24の形成は、ペースト状にして塗布するのではなく、粉末状の電極材料をシート体22の表面に均一に散布し、これをローラ等で押圧することによっても行える。シリコーンゲルなどは、その表面が粘着性を有しているので、表面上に電極材料を散布することのみによっても、電極材料がシート体22表面に付着し、電極とすることができる。ローラ等で押圧すれば、カーボンナノファイバーの一端側をシート体22の表面に食い込ませる

ことができるので好適である。

#### 【0019】

電極 24 の形成は次に述べる方法によってもよい。

すなわち、粉末状の電極材料を平坦な鉄板上に均一に散布しておき、この鉄板に電場を印加する。すると、カーボンナノファイバーからなる繊維状の電極材料は鉄板上で起立する状態となる。この状態の鉄板上にゲル状のシリコンを流し込み、固化することによって、一方の表面上に、カーボンナノファイバーの一端側がシート体内に食い込んだ電極部を形成したシート体を得ることができる。このシート体を 2 枚、電極部が形成されていない側を対向させて貼り合わせることによって、両面側に電極を形成したアクチュエータ 20 を得ることができる。

上記いずれの電極形成方法も、金を蒸着して形成するよりは処理が各段に簡易となる。

#### 【0020】

電極 24 の厚さは特に限定されるものではない。前記のように、カーボンナノファイバーが互いに接触して集合しているので、シート体 22 が変形してもカーボンナノファイバー同士の接触が維持される。電極 24 の厚さは、このカーボンナノファイバー同士の接触が維持される限りにおいて薄い方がシート体 22 の柔軟性がより良好に維持されるので好適である。またコスト的にも有利となる。

また、電極 24 の厚さが薄いと透明性が生じ、各種光学機器でのアクチュエータとして使用が可能となる。

#### 【実施例 1】

##### 【0021】

図 2 ～図 11 は、ポリウレタンシート（幅 5 mm、長さ 20 mm、厚さ 0.20 mm、酢酸ナトリウムをドーピング）の両面に、上記のようにしてカーボンナノチューブを用いて電極を形成したアクチュエータの変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である。印加電圧は、100 ～ 900 V（0.5 ～ 4.5 MV/m）。

アクチュエータの端部を端子部で加えて電場を印加すると直ちに若干変形する（On）。印加電圧が高くなるにつれ、変形速度が早くなり（図上、例えば 15 S とは、印加後 15 秒の意味である）、最大変形量が大きくなることがわかる。

図 2 ～図 11 からわかるように、シート体の両面に均一に電極を形成した場合、シート体の変形は円弧状となる。

図 11 の 900 V を印加した場合にあっては、最大に変形した場合の曲率  $1/R$  は、約  $100\text{ m}^{-1}$ （曲率半径約 10 mm）と大きなものであり、大きな変形が得られた。

#### 【実施例 2】

##### 【0022】

図 12 は、ポリウレタンシート（幅 5 mm、長さ 20 mm、厚さ 0.20 mm、酢酸ナトリウムをドーピング）の両面に、上記のようにしてカーボンナノチューブを用いて電極を形成したアクチュエータの変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である（印加初期の状態と数秒後のものをオーバーラップして表示。図 13 ～図 16 も同じ）。図 13 は、ポリウレタンシート（幅 5 mm、長さ 20 mm、厚さ 0.20 mm、酢酸ナトリウムをドーピング）の両面に、ポリピロールにより電極を形成したアクチュエータ（比較例）の変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である。印加電圧は、共に 800 V（4 MV/m）。

カーボンナノチューブで電極を形成した方が、ポリピロールにより電極を形成した場合に比して変形量が各段に大きいことがわかる。

#### 【実施例 3】

##### 【0023】

図 14 は、ポリウレタンシート（幅 5 mm、長さ 20 mm、厚さ 0.20 mm、電解質によるドーピング無し）の両面に、上記のようにしてカーボンナノチューブを用いて電極を形成したアクチュエータの変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である。図 15 は、ポリウレタンシート（幅 5 mm、長さ 20 mm、厚さ 0.20 mm、電解質によるド



ーピング無し)の両面に、ポリピロールにより電極を形成したアクチュエータ(比較例)の変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である。印加電圧は、共に800V(4MV/m)。

カーボンナノチューブで電極を形成した方が、ポリピロールにより電極を形成した場合に比して変形量が多い。しかし、電解質をドーピングした図12、図13に示すアクチュエータの方が変形が多い。

#### 【実施例4】

##### 【0024】

図16は、シリコンシート(幅5mm、長さ20mm、厚さ0.20mm、酢酸ナトリウムをドーピング)の両面に、上記のようにしてカーボンナノチューブを用いて電極を形成したアクチュエータの変形特性をビデオ映像から取り出した説明図である。印加電圧は、800V(4MV/m)。

従来シリコンシートを用いた場合には、目に見える変形は生じなかったが、酢酸ナトリウムをドーピングし、さらに上記のようにカーボンナノチューブを用いた電極を作成したことにより、変形量は多くはないが、明らかに目に見える変形が生じた。

#### 【産業上の利用可能性】

##### 【0025】

本発明に係るアクチュエータは、柔軟性を有するシート体の変形を利用するものであるため、大きな力を要する分野でのアクチュエータとしては用いることはできないが、小さな力で駆動できる、微小電気部品におけるスイッチ駆動部、反射ミラーなどの角度切換駆動体などとして使用可能である。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【0026】

【図1】アクチュエータの電極構造を模式的に示した説明図である。

【図2】ポリウレタンを用いたアクチュエータの100V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図3】ポリウレタンを用いたアクチュエータの150V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図4】ポリウレタンを用いたアクチュエータの200V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図5】ポリウレタンを用いたアクチュエータの300V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図6】ポリウレタンを用いたアクチュエータの400V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図7】ポリウレタンを用いたアクチュエータの500V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図8】ポリウレタンを用いたアクチュエータの600V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図9】ポリウレタンを用いたアクチュエータの700V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図10】ポリウレタンを用いたアクチュエータの800V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図11】ポリウレタンを用いたアクチュエータの900V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図12】電解質をドーピングしたポリウレタンを用い、カーボンナノチューブで電極を形成したアクチュエータの800V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図13】電解質をドーピングしたポリウレタンを用い、ポリピロールで電極を形成したアクチュエータの800V印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図 1 4】電解質をドーピングしないポリウレタンを用い、カーボンナノチューブで電極を形成したアクチュエータの 8 0 0 V 印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図 1 5】電解質をドーピングしないポリウレタンを用い、ポリピロールで電極を形成したアクチュエータの 8 0 0 V 印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図 1 6】シリコンフィルムを用いたアクチュエータの 8 0 0 V 印加時の変形状態をビデオ映像から取り出した説明図である。

【図 1 7】従来のアクチュエータの構造を示す説明図である。

【図 1 8】従来のアクチュエータの変形状態を示す説明図である。

【符号の説明】

【 0 0 2 7 】

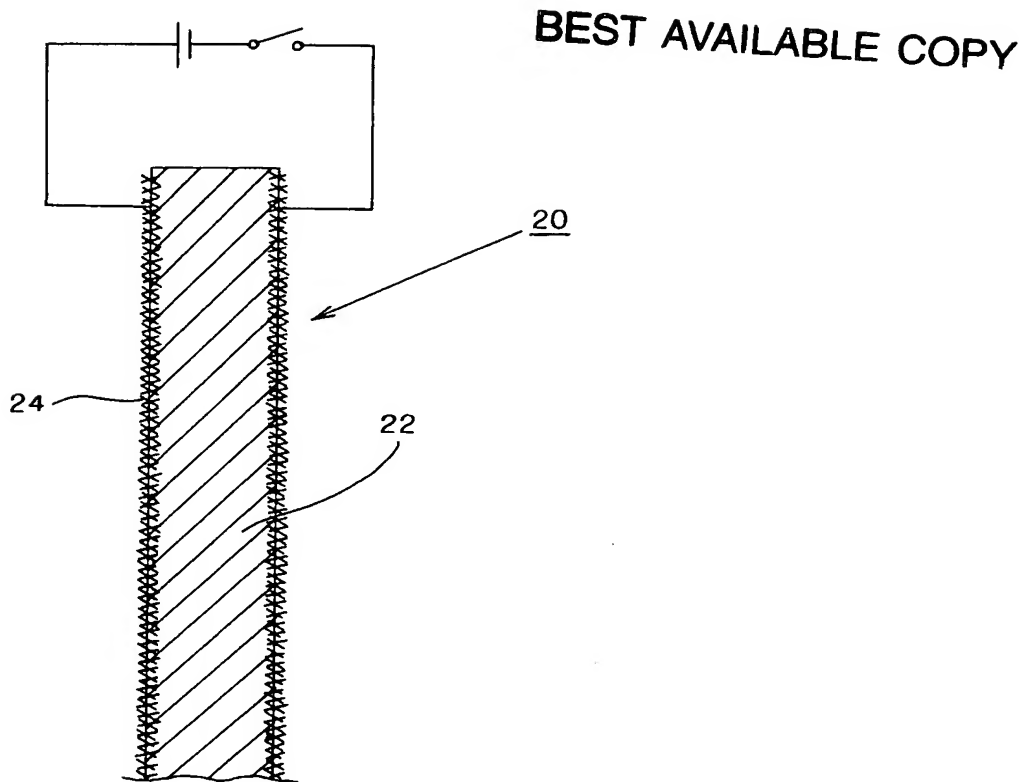
2 0    アクチュエータ

2 2    シート体

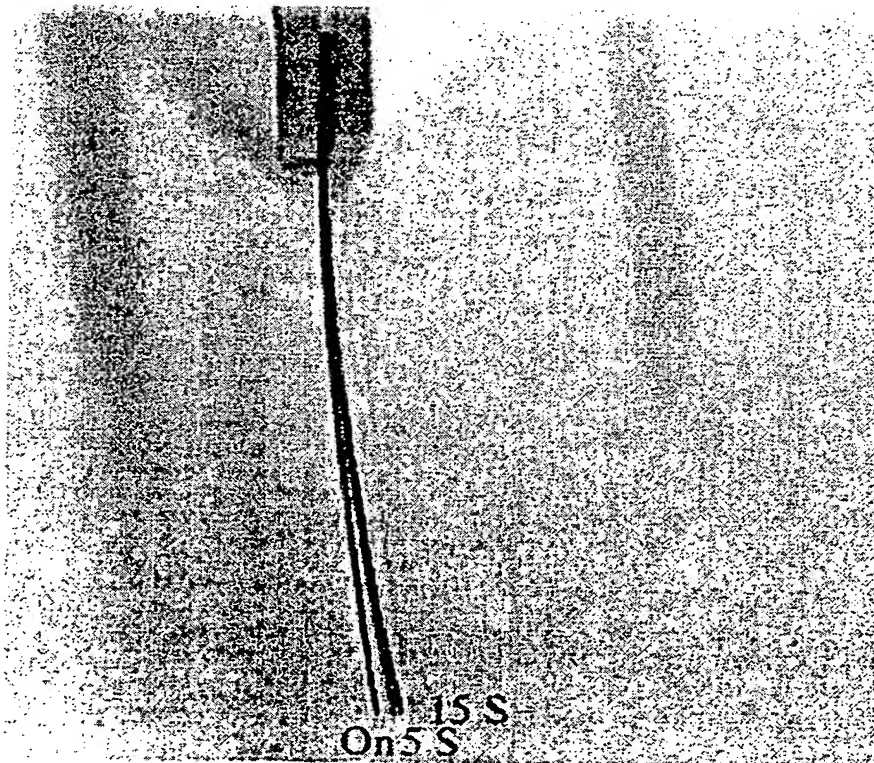
2 4    電極

【書類名】 図面

【図 1】



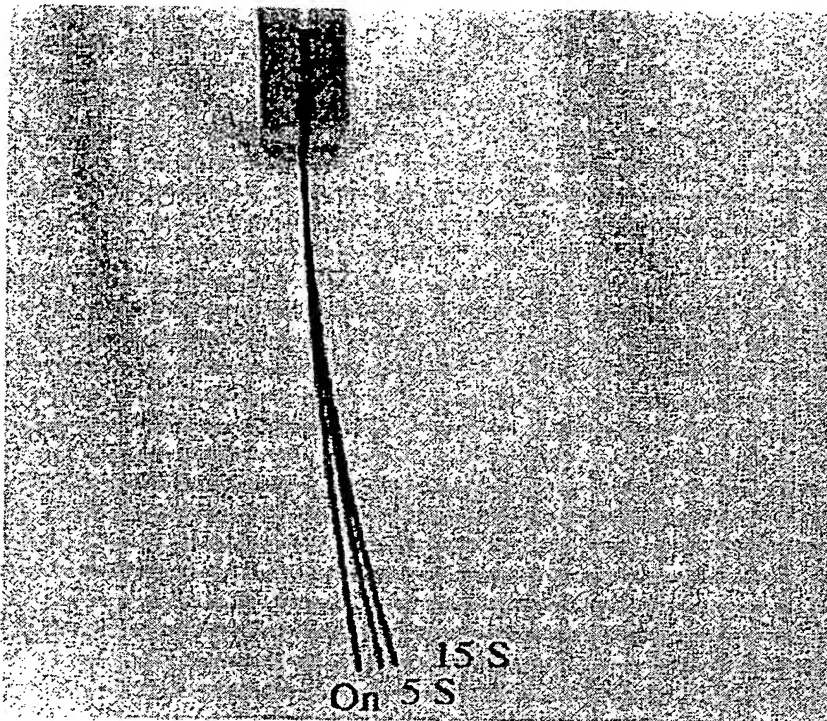
【図 2】



印加電圧 100V

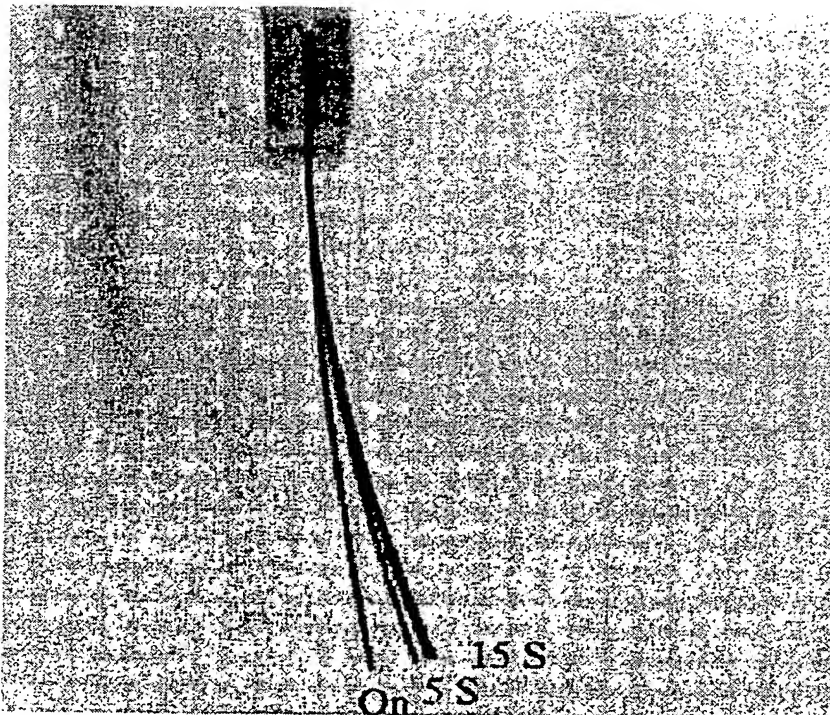
【図 3】

BEST AVAILABLE COPY



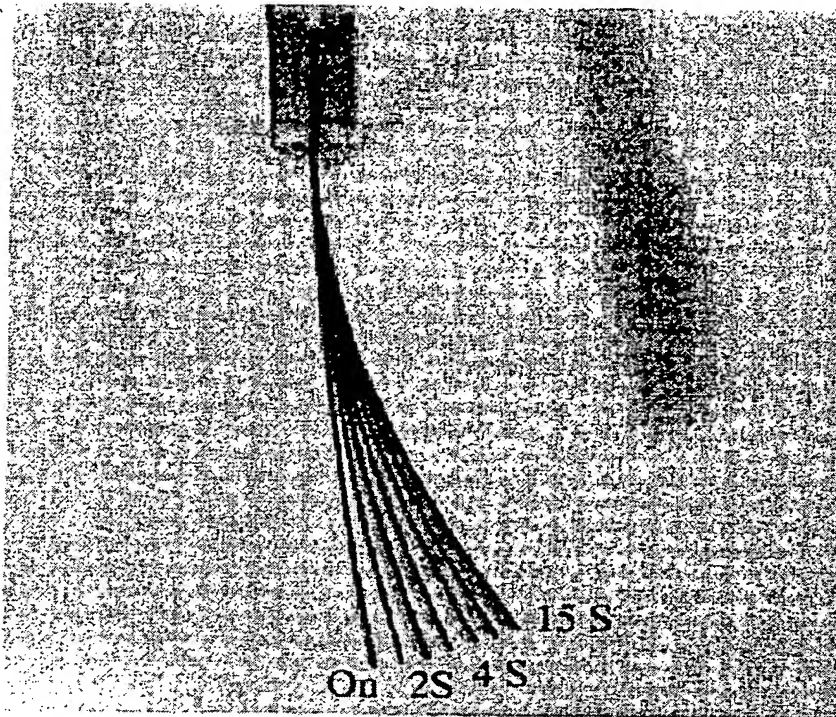
印加電圧 150V

【図 4】



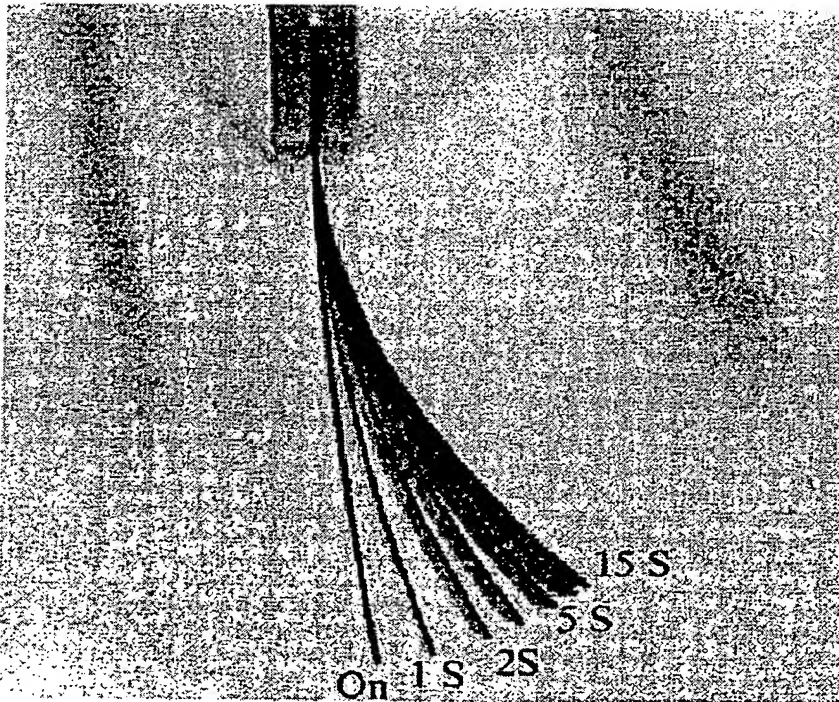
印加電圧 200V

【図 5】



印加電圧 300V

【図 6】

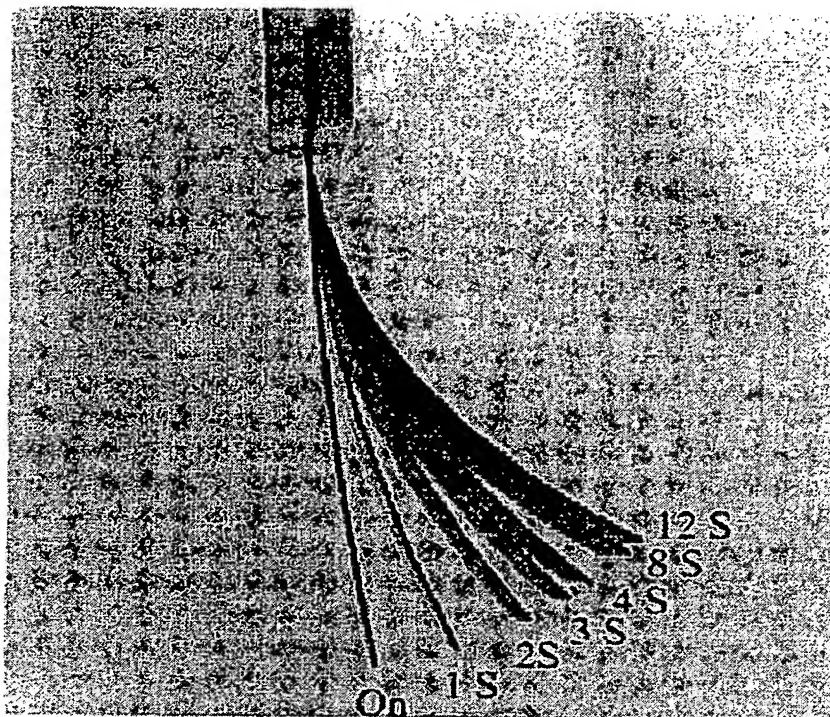


印加電圧 400V

BEST AVAILABLE COPY

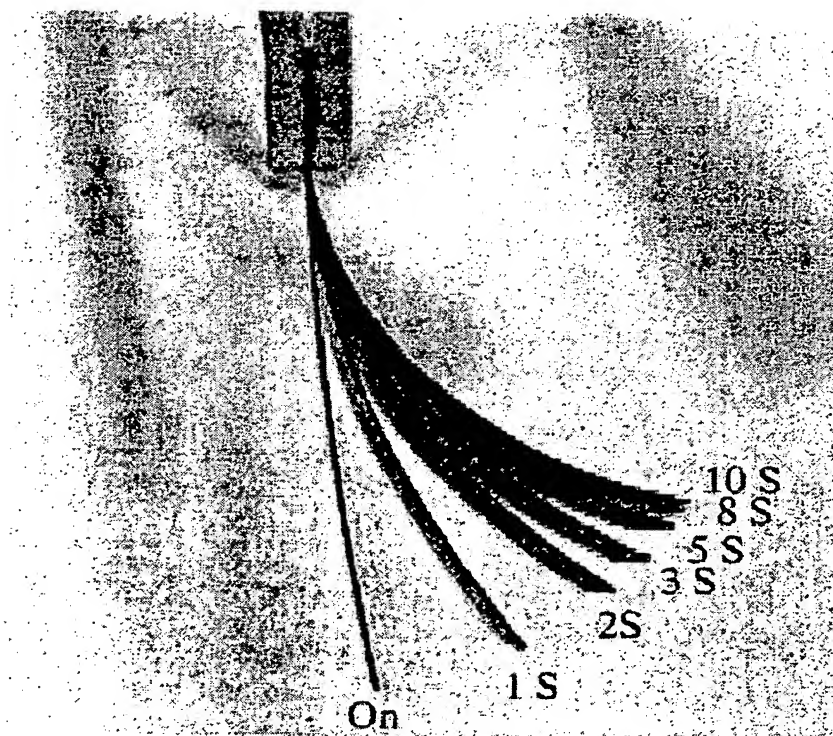


【図 7】



印加電圧 500V

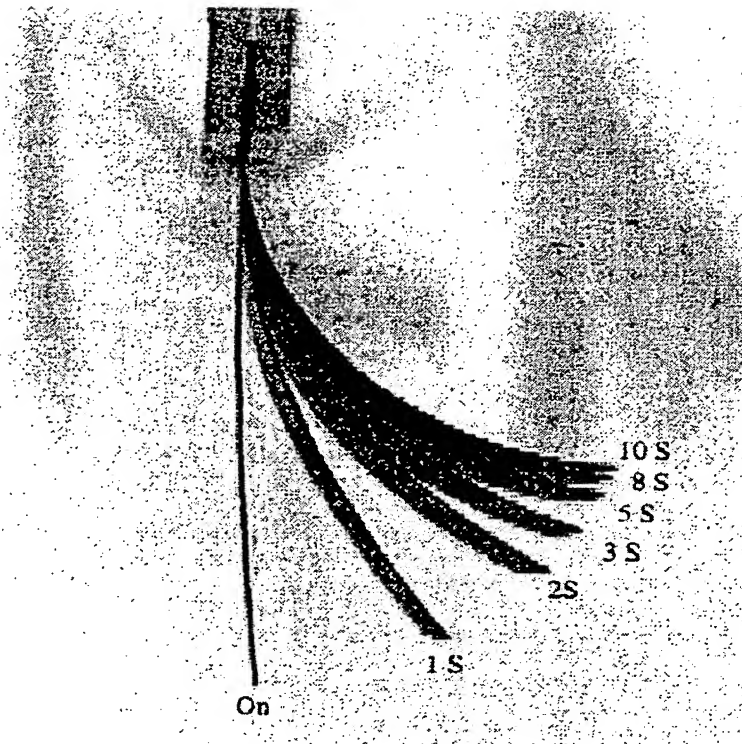
【図 8】



印加電圧 600V

BEST AVAILABLE COPY

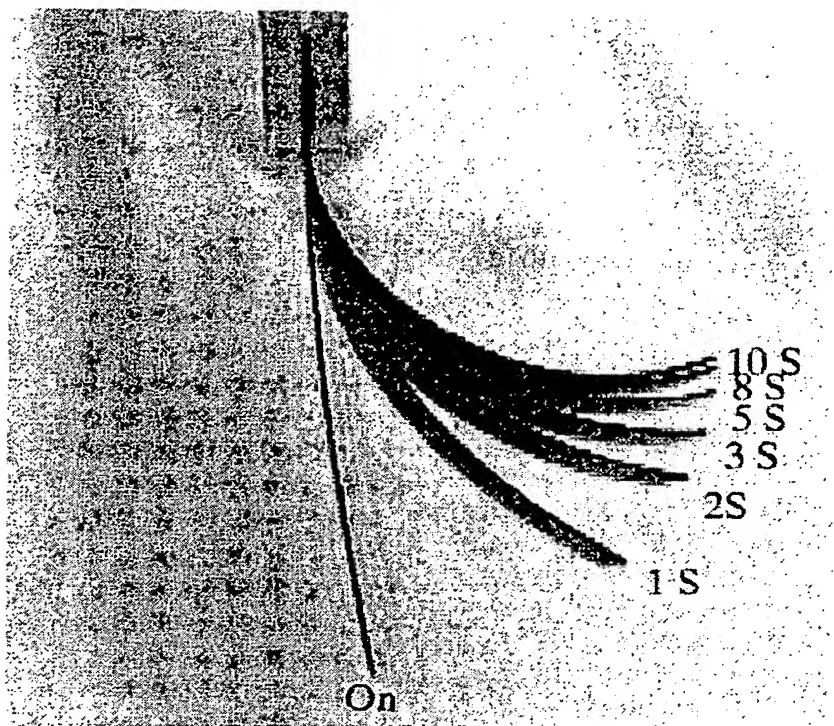
【図 9】



印加電圧 700V

BEST AVAILABLE COPY

【図 10】

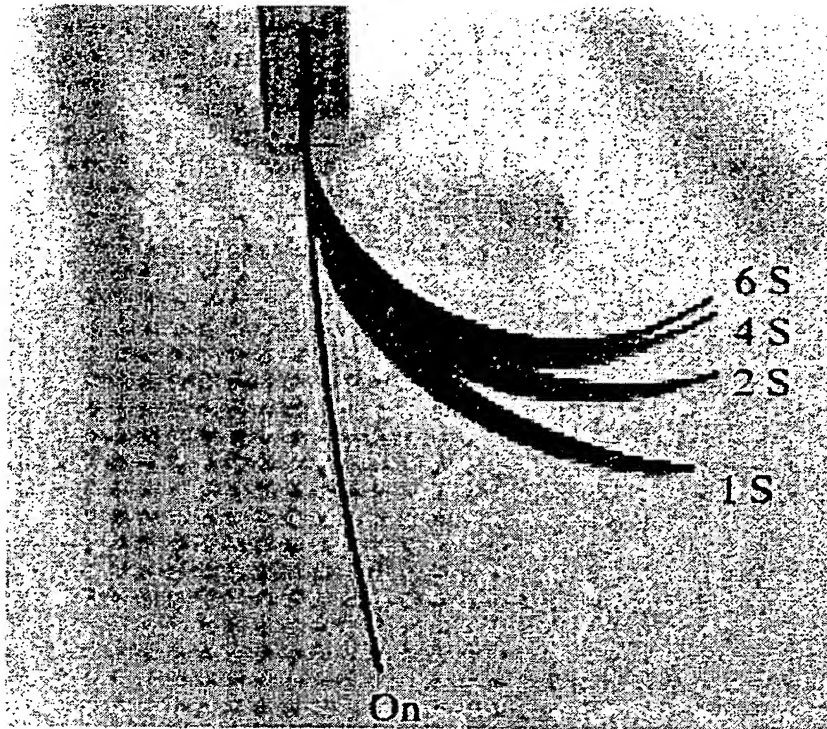


印加電圧 800V

BEST AVAILABLE COPY



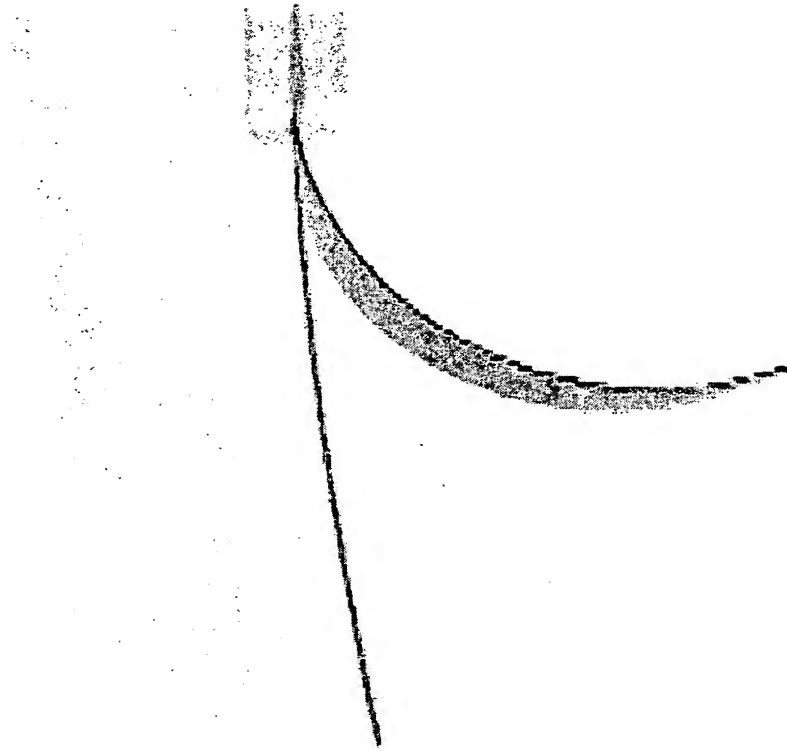
【図 11】



印加電圧 900V

BEST AVAILABLE COPY

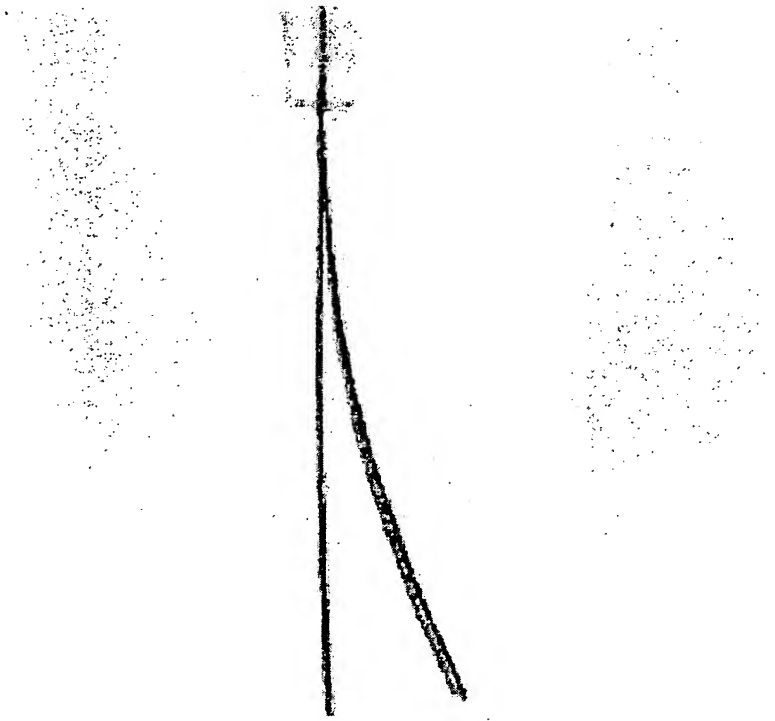
【図 12】



印加電圧 800V

BEST AVAILABLE COPY

【図 13】



印加電圧 800V

BEST AVAILABLE COPY

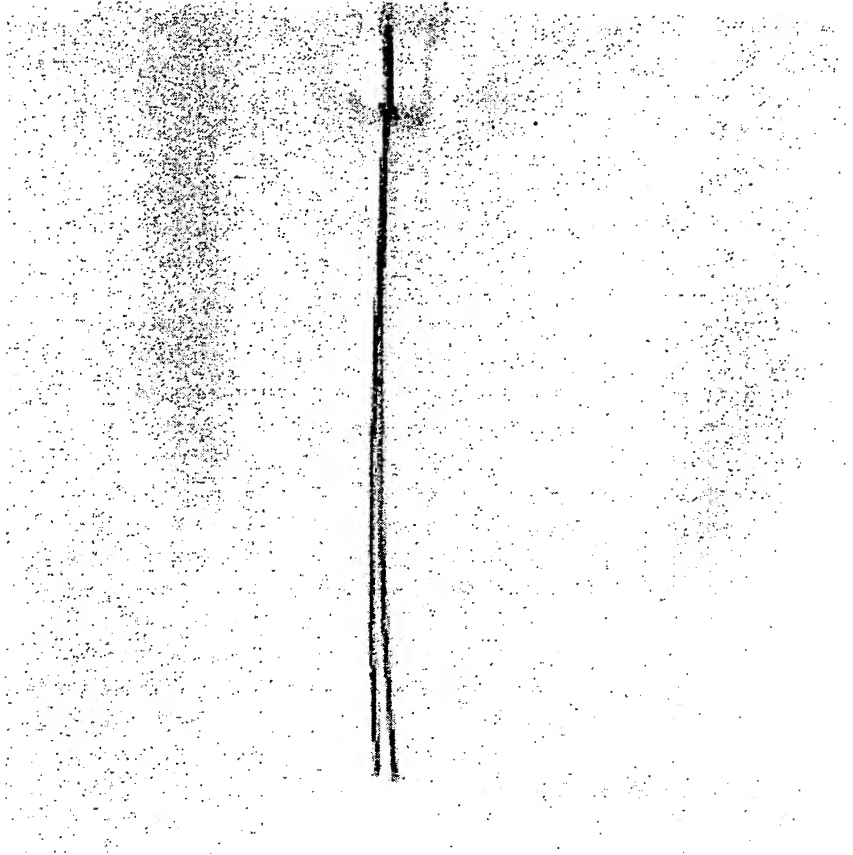
【図 14】



印加電圧 800V

BEST AVAILABLE COPY

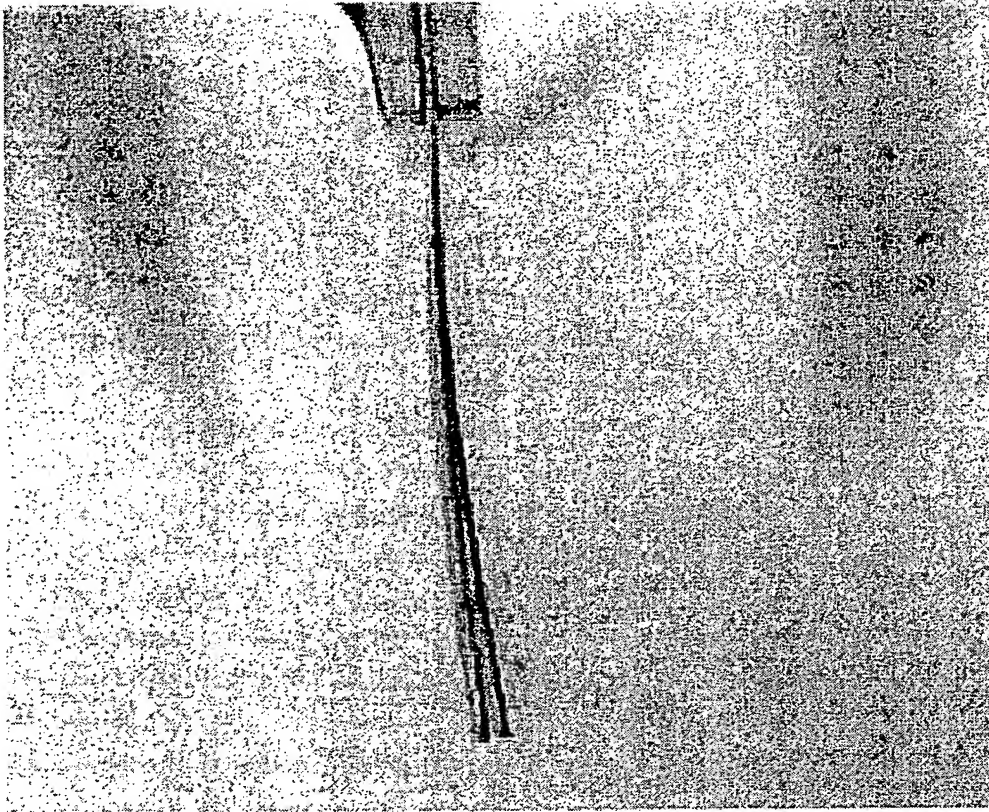
【図 15】



印加電圧 800V

BEST AVAILABLE COPY

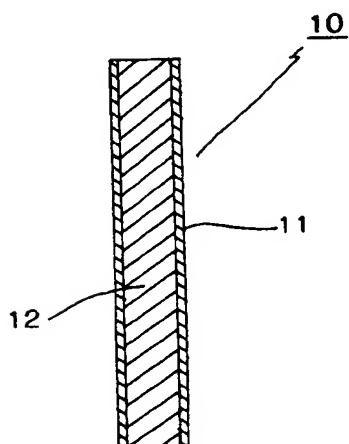
【図 16】



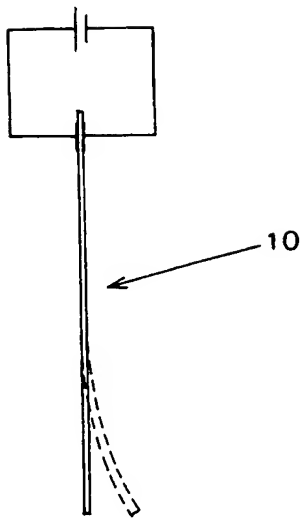
BEST AVAILABLE COPY

印加電圧 800V

【図 17】



【図 18】



**【書類名】 要約書****【要約】**

**【課題】** 大きな変形が得られるカーボンナノファイバーを用いる高分子アクチュエータおよびこのアクチュエータに用いて好適な電極材料を提供する。

**【解決手段】** 柔軟性を有する高分子材料からなるシート体の両面に、カーボンナノファイバーを主体とする電極が形成されていることを特徴とする。カーボンナノファイバー同士が接触しているだけの柔らかく、かつカーボンナノファイバー同士の接触が維持されつつシート体の変形に追従する電極を設けたので、もともと大きな変形可能性のあった材料の変形を最大限取りだし可能となった。

**【選択図】** 図 1



特願 2 0 0 4 - 0 2 7 3 3 6

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 5 9 7 1 0 0 9 7 4 ]

1. 変更年月日

1 9 9 7 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

新規登録

住 所

長野県松本市旭 3 - 1 - 1

氏 名

信州大学長